

D. C. I. 材の疲労強度に及ぼす 試験片の寸法効果について

A Study of Size Effect of Specimens on the Fatigue Strength of Ductile Cast Iron

近藤 正和*
Masakazu Kondô

竹崎 安剛*
Yasutaka Takezaki

今川 信清*
Nobukiyo Imagawa

内 容 梗 概

実物大の大形試験への関心は近時ますます高まり、特に疲労強度に及ぼす試験片寸法の影響については重要な研究課題となってきた。本文は今度製作した 210 t. cm の大形回転曲げ疲労試験機および小形疲労試験機により 12~100 mm の種々の大きさの D. C. I. 材の平滑および切欠試験片について、寸法と疲れ限度の関係を求め、寸法効果に及ぼす切欠の影響を明らかにした。

1. 緒 言

金属圧延用ロールは、かなり過酷な条件で使用されており、しばしば折損事故を発生する。これは他の機械部品に比較して安全係数が小さく許容応力一杯で使用されている場合が多いからである。したがって過負荷によるロールの折損を防止するためには、各種ロール材の許容応力を正確に知り、この許容応力以下で使用者のようにロール材質を選定する必要がある。

ところがロール材の許容応力を知る方法として、従来はロール材の抗張力や小形試験片による疲労試験の結果からこれを推察していた。しかし大形ロールは小形の試験片よりはるかに大きい。これは強度上非常に重要なことである。なぜならば幾何学的に相似な部材の形状係数は部材の寸法の大小には全く無関係であるが、切欠係数は幾何学的に相似であってもその寸法が大きくなれば大きくなるからである。このように寸法の増大による疲れ限度の低下すなわち切欠係数の増加は、許容応力を知るうえで決して無視できない。

このような疲労強度に及ぼす寸法効果は近時特に注目されており、これを明らかにするため大形試験機が各所で作られ、実物大の寸法の試験片による疲労試験が行なわれ数多く報告^{(1)~(5)}されている。

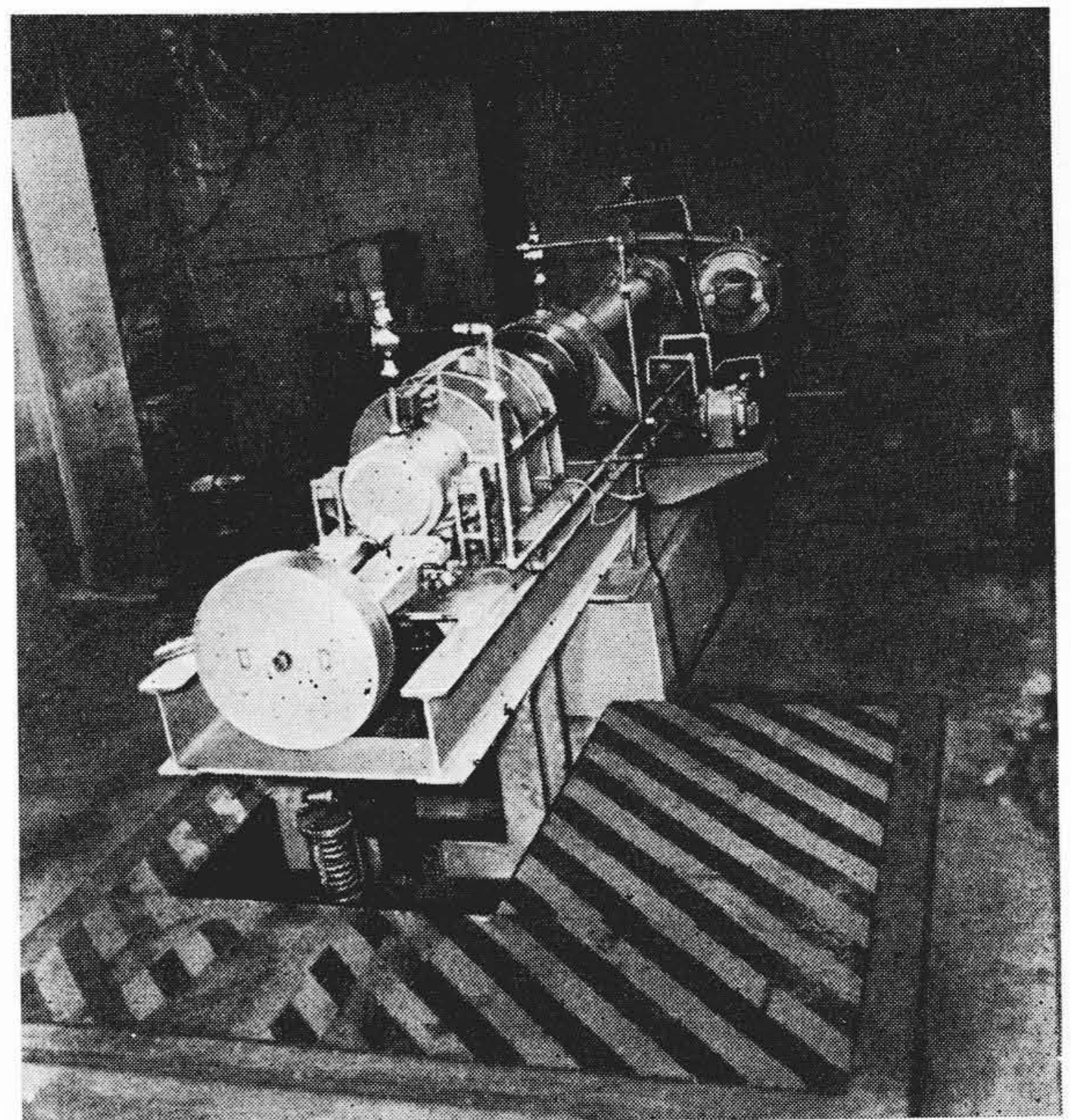
しかしこの寸法効果についての試験はほとんど鋼材についての試験であり鋳鉄に関する実験結果はわずかである。したがって日立金属工業株式会社若松工場では鋳鉄材の寸法効果を明らかにするため直径 100 mm の疲れ試験が可能な 2.1 t. m の試験機を製作した。

この報告は、12~100 mm 直径の試験片で球状黒鉛鋳鉄の疲労試

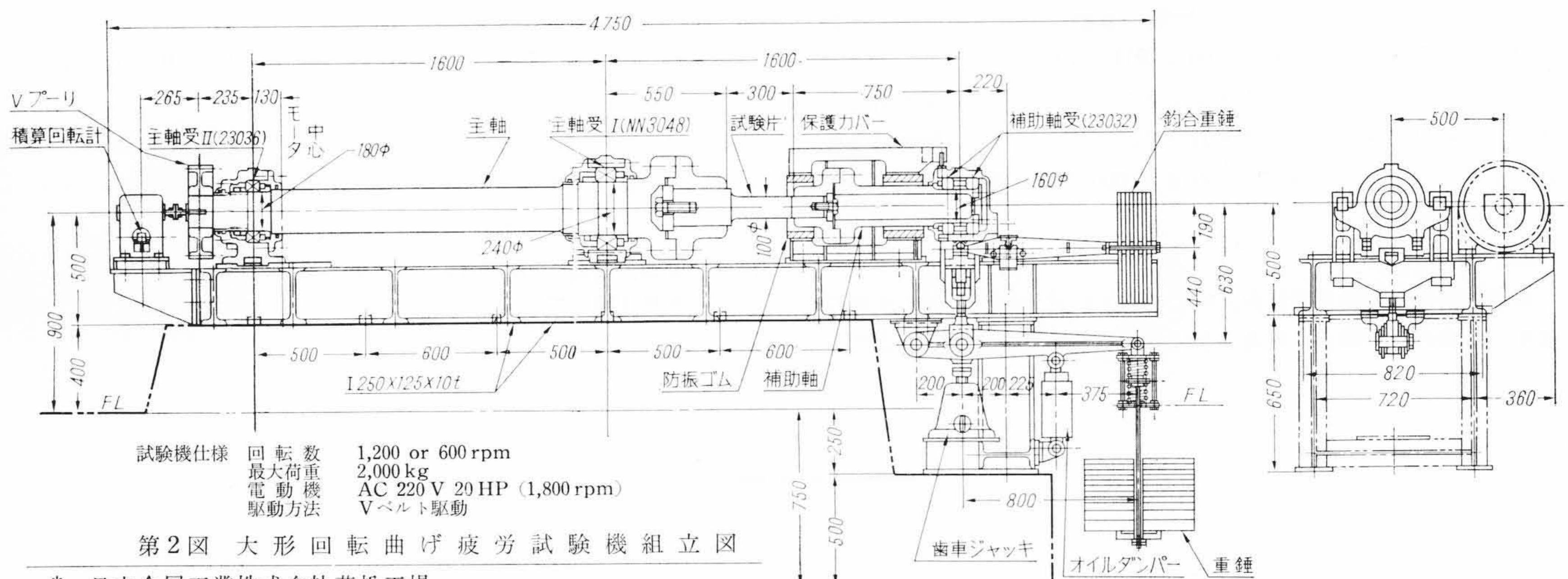
験を行ない、平滑および切欠試験片における寸法効果を求めることができたので、大形疲労試験機の構造、要目とあわせてここに紹介するものである。

2. 大形回転曲げ疲労試験機

新しく製作設置した大形疲労試験機は、片持はり式回転曲げ構造



第1図 大形回転曲げ疲労試験機



* 日立金属工業株式会社若松工場

であり、その概観は第1図の写真に示すようなものである。なお第2図はその組立図である。

2.1 試験機の要目

試験機の大きさ 長さ 4,750 mm 幅 1,100 mm 高さ 760 mm

所要馬力 20 HP

最大曲げモーメント 2.1 t.m

試験片直径 標準平滑試験片最大 100 mm 最小 35 mm

回転数 600, 1,200 rpm

負荷機構 てこ重錘式：てこ比 1 : 5

主軸受 I 円筒コロ軸受

主軸受 II 球面コロ軸受

補助軸受 球面コロ軸受

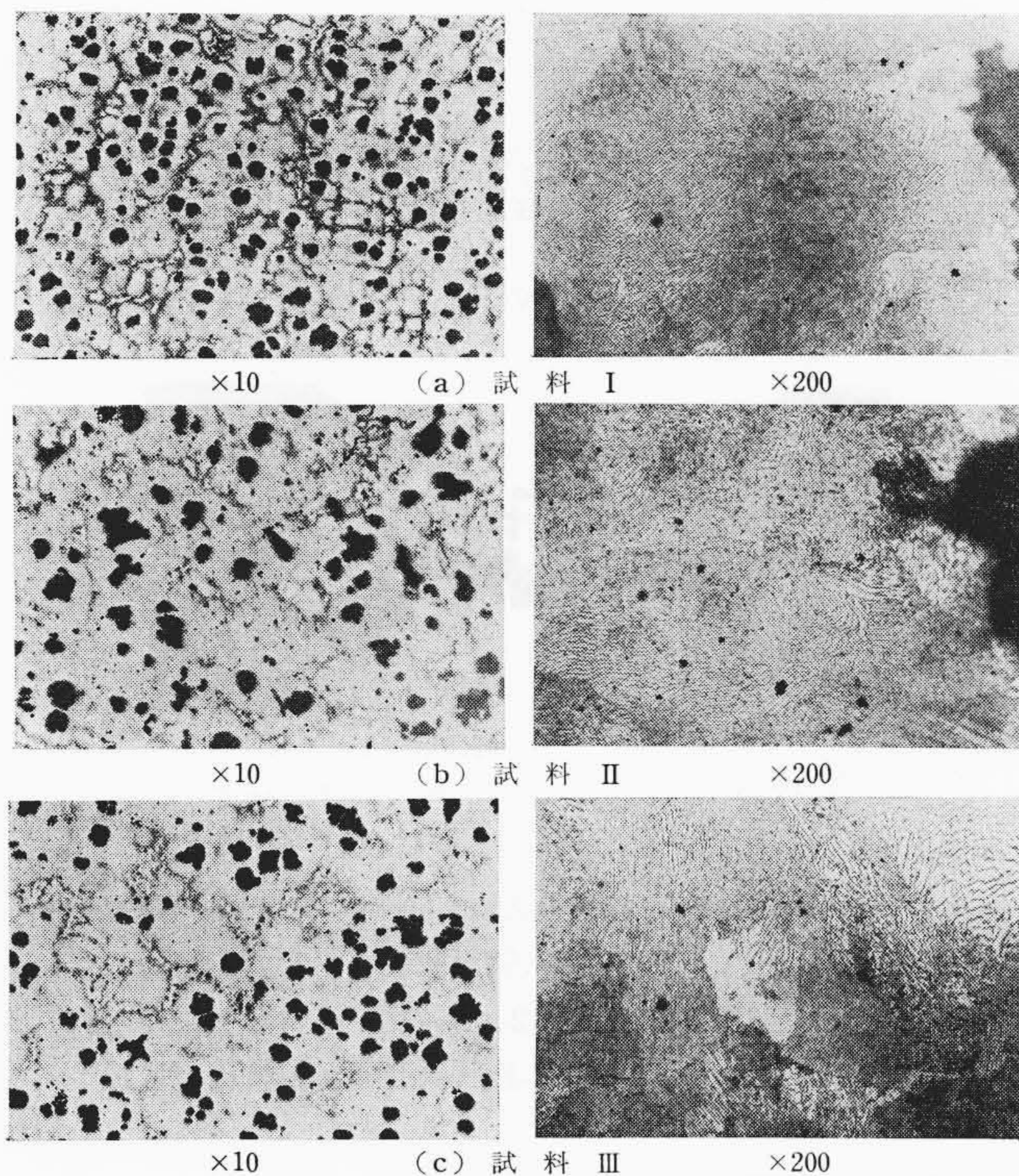
潤滑装置 歯車ポンプによる強制循環による潤滑

3. 試験片

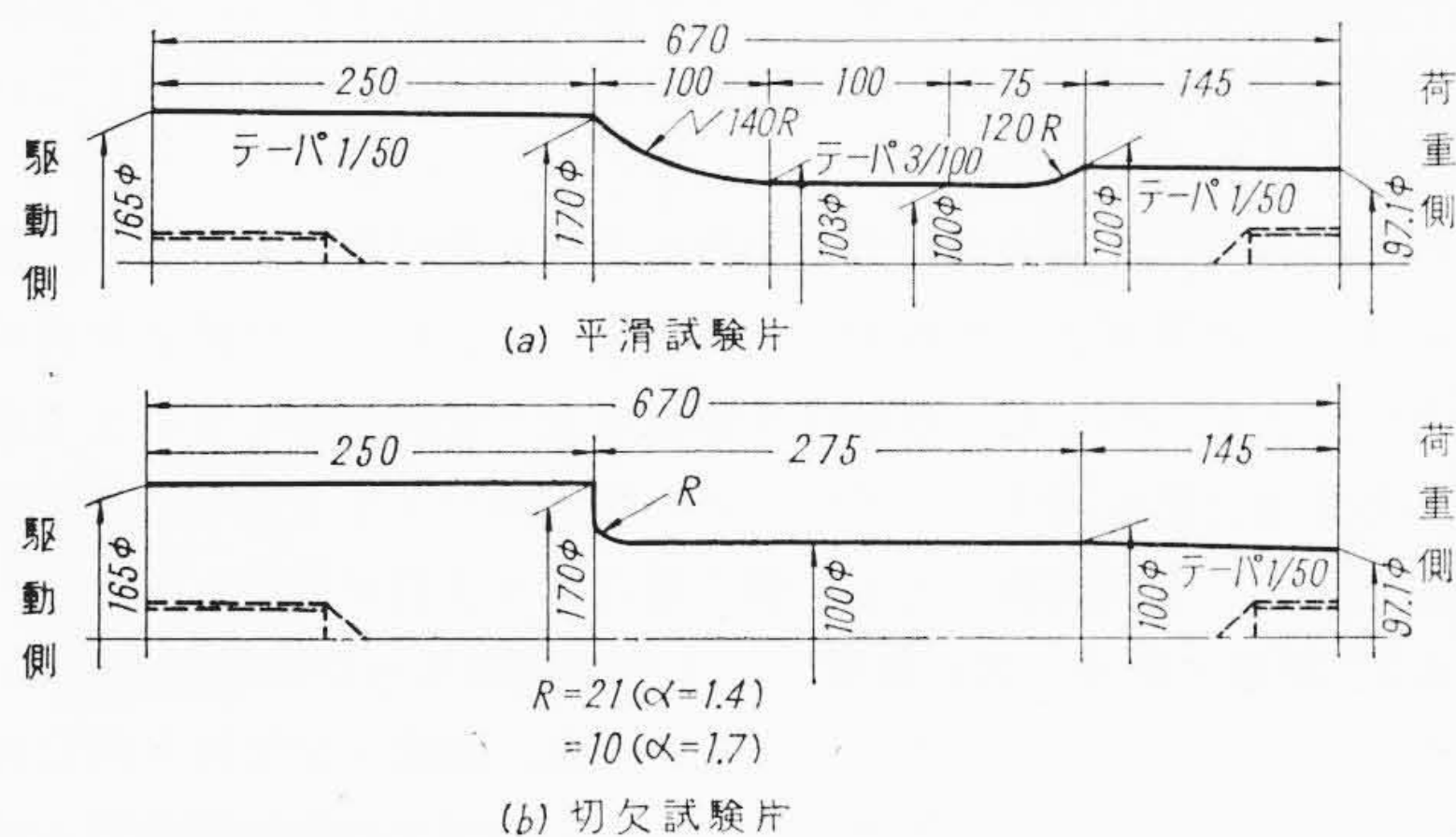
3.1 試験材料

試験材料は $200\phi \times 1,200L$ の砂型に铸込んだ球状黒鉛鉄材であり、直径の同じ試験片を同一材料とするために同一の溶湯を同時に16本の砂型に铸込んで試験片素材とした。しかしながら試料 I の粗材は溶湯が不足したために12本しかとれなかった。

これらの試験材料の機械的性質を第1表に示し、試料の顕微鏡組織を第3図に示す。試料 I, II, IIIとも基地はそれぞれ均一な層状



第3図 供試材料の顕微鏡組織



第4図 直径 100 mm 大形疲れ試験片

第1表 機械的性質

試料番号	引張強さ kg/mm^2	伸び %	HB
I	54.6	0.93	249
II	49.8	0.59	242
III	48.7	0.53	241

パーライトであるが、試料 II, IIIは試料 I に比較して黒鉛の球状化がやや不完全であり、黒鉛粒径がやや大きいようである。

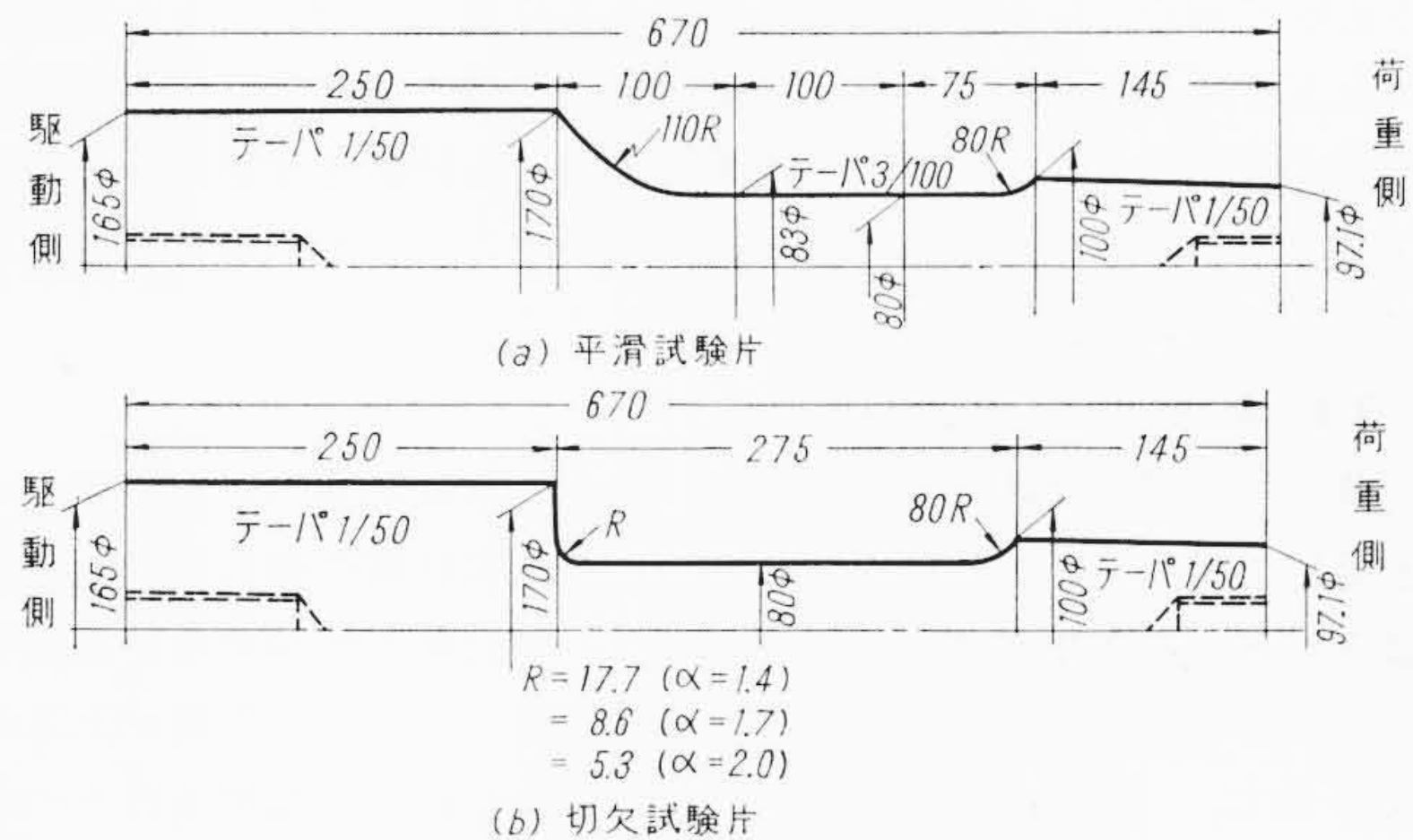
3.2 試験片形状

試料 I の粗材より直径 100 mm の平滑材および形状係数 $\alpha=1.4, 1.7$ の2種の切欠試験片を、試料 II の粗材より直径 80 mm の平滑材および形状係数 $\alpha=1.4, 1.7, 2.0$ の3種の切欠試験片を、試料 III の粗材より直径 60 mm の平滑材および形状係数 $\alpha=1.4, 1.7, 2.0$ の3種の切欠試験片をそれぞれ4本ずつ作製した。なお直径 100 mm、形状係数 $\alpha=2.0$ の切欠試験片は3.1の項で述べたように試料不足のため作製できなかった。試験片の寸法を第4~6図に示す。試験機が片持はり構造のため試験片にかかる曲げモーメントは試験片軸方向に均一ではないが、平滑試験片にテーパをつけることにより曲げ応力分布の不均一を1%以下にすることができる。またせん断応力も試験片寸法が 100 mm の場合曲げ応力の1.63%以下であり、ほとんど支障とならない。

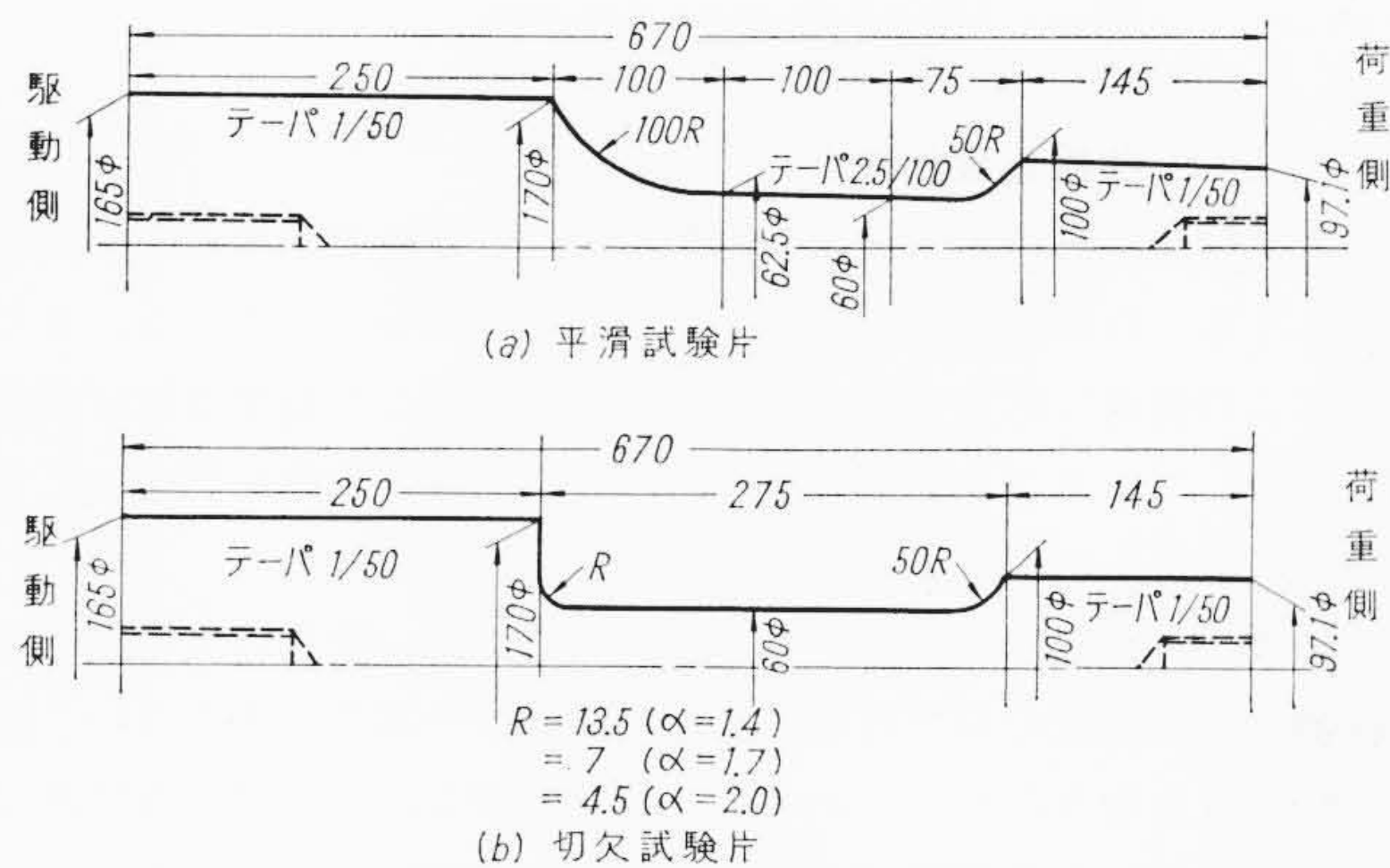
ここで切欠試験片として、段つき試験片を選んだのはロール首部の形状がこのような形をしていることがその大きな理由である。なお段つき部の形状係数は Peterson の実験結果⁽⁶⁾を用いて求めた。

3.3 小形試験片の採取位置および形状

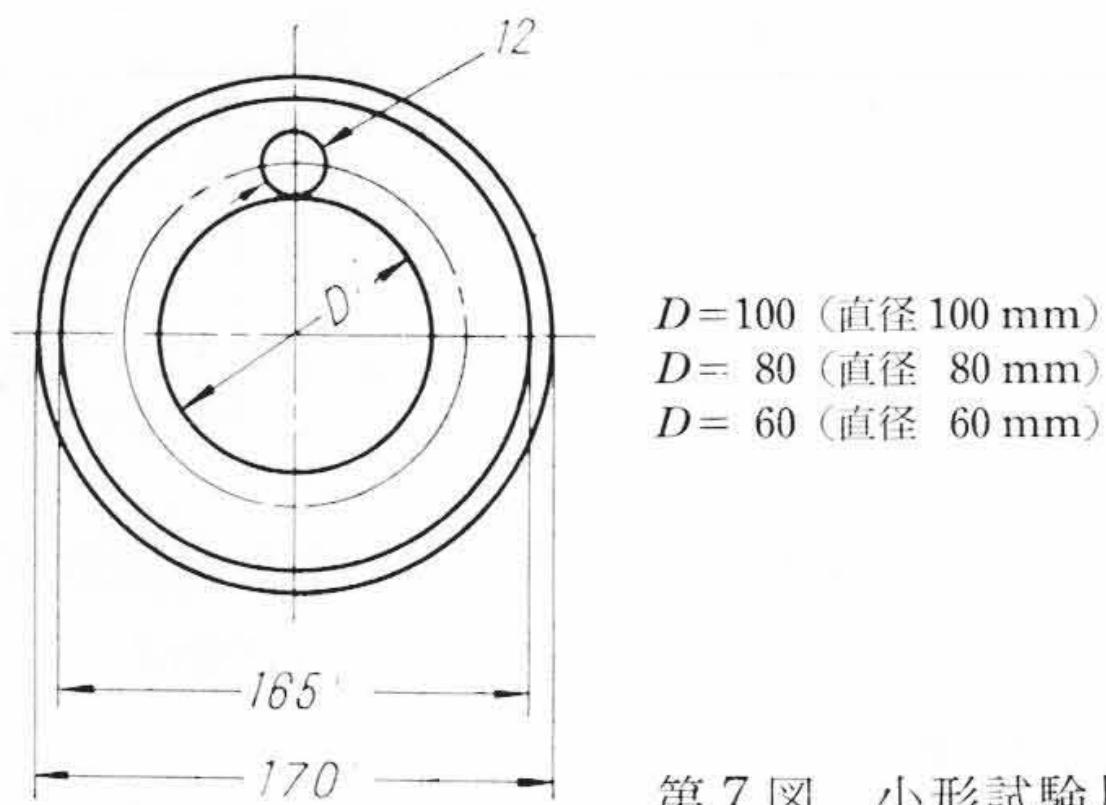
試験の終わった大形試験片の駆動側はめ込部断面より小形試験片および引張り試験片を採取した。採取位置は第7図に示す。このような採取方法によって大小試験片の最も弱い部分を粗材の同一位置に選ぶことができる。小形試験片としても第8図に示す形状の平滑



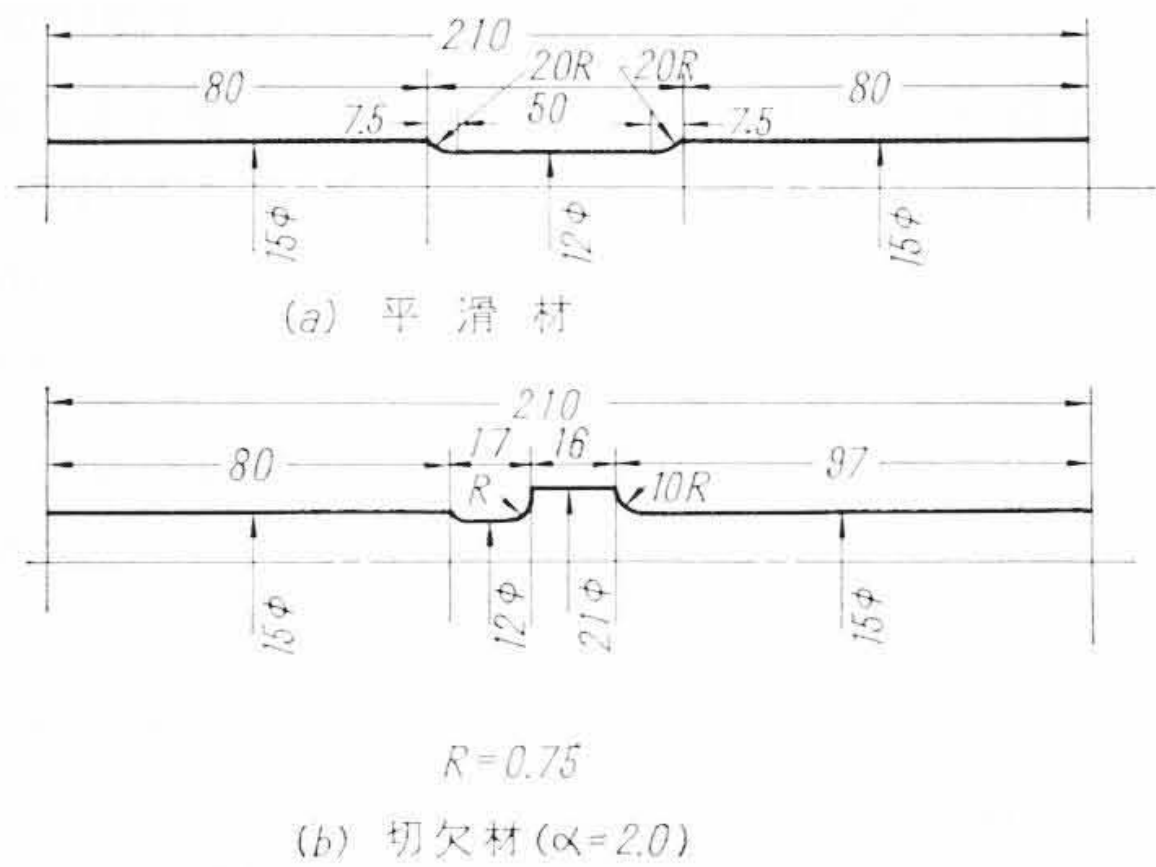
第5図 直径 80 mm 大形疲れ試験片



第6図 直径 60 mm 大形疲れ試験片



第7図 小形試験片の採取位置



第8図 直径12 mm 小形疲れ試験片

試験片および形状係数 $\alpha=2.0$ の試験片を用意し、小野式回転曲げ疲労試験機により実験を行なった。

3.4 試験片表面の仕上状況

試験片の表面仕上は大小試験片とも平滑部は研磨仕上、すみ肉部はヘールバイト仕上後紙やすりでみがき表面あらさを2S以下としている。

3.5 試験片の振れ

試験片の振れは、試験片の最荷重側で10/100 mm以内に押えるようにしており、したがって破断の起こる位置でこの点よりも駆動側にあるため平滑試験片で5/100 mm切欠試験片で3/100 mm以内に振れを押えることができる。なお運転開始後回転速度が低い初期に共振作用を起こして試験片はかなり振動する。したがって共振点を過ぎるまで試験片には荷重を加えないようにしている。

3.6 試験片の温度

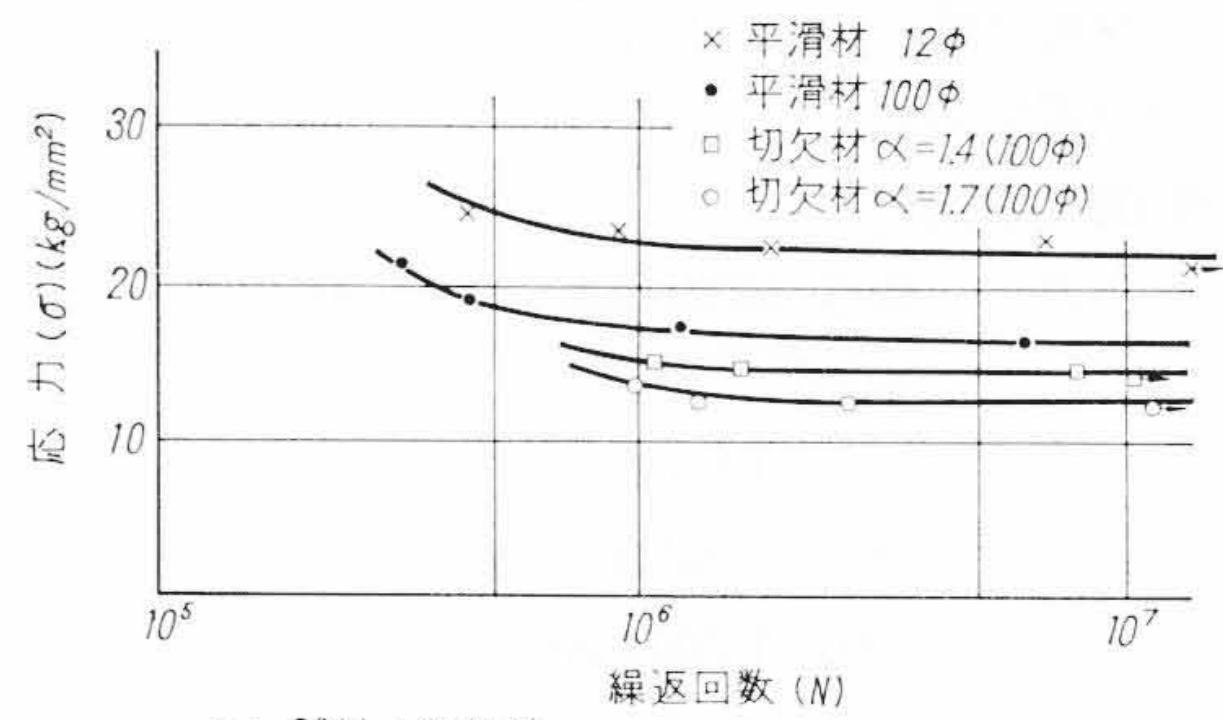
試験片の温度は運転を開始して、繰返し数の増加とともに徐々に上昇して行く。しかし約2~3時間後には定常状態に達しそれ以後はほとんど温度変化が認められず、ほぼ一定温度を保持する。定常状態における試験片の温度は大気温度(室温)によって差異があるが通常38°C、最大45°Cであった。また繰返し応力と温度上昇との間には特別な関係は認められず、むしろ大気温度(室温)の影響が大きいようである。

4. 試験結果

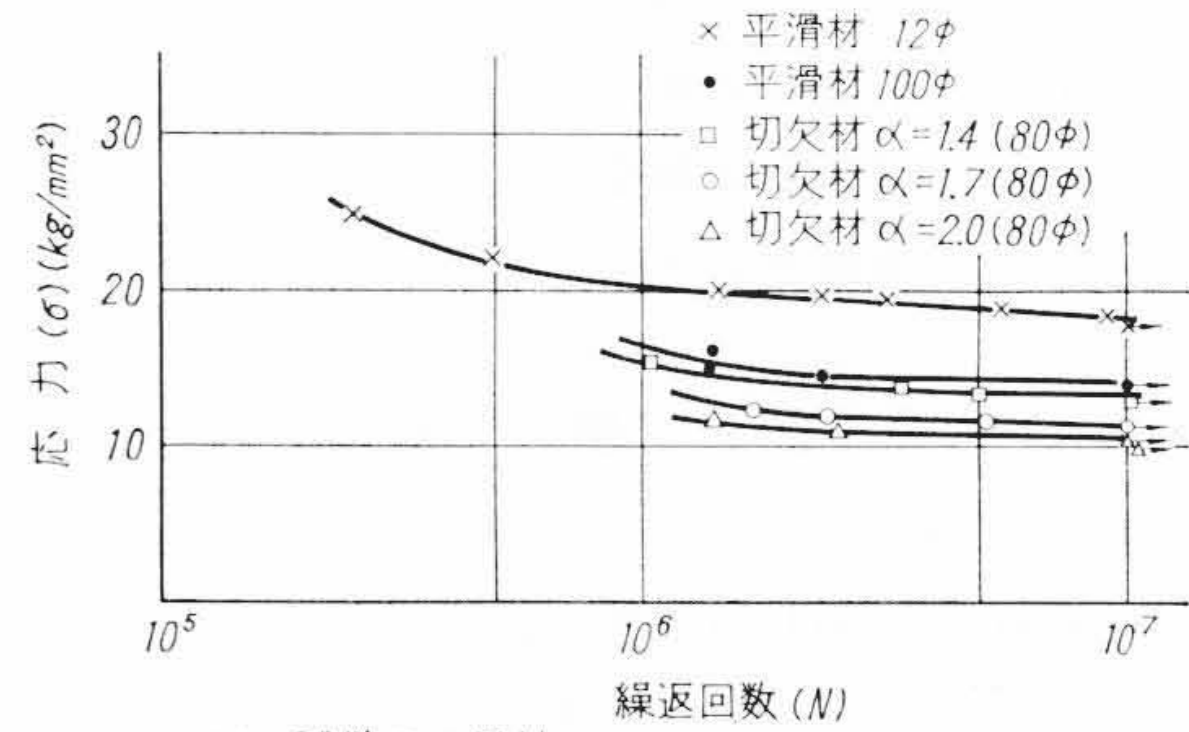
4.1 S-N 曲線と疲れ強さ

各種試験片から得られた試験結果をS-N曲線で示すと第9図のようになる。なお繰返し応力は弾性理論計算値をとっている。また実際にこの繰返し応力をひずみ計を用いて測定した結果はほぼ理論値と一致していることが解ったので、ここでは理論的な値を一応とることにしたものである。

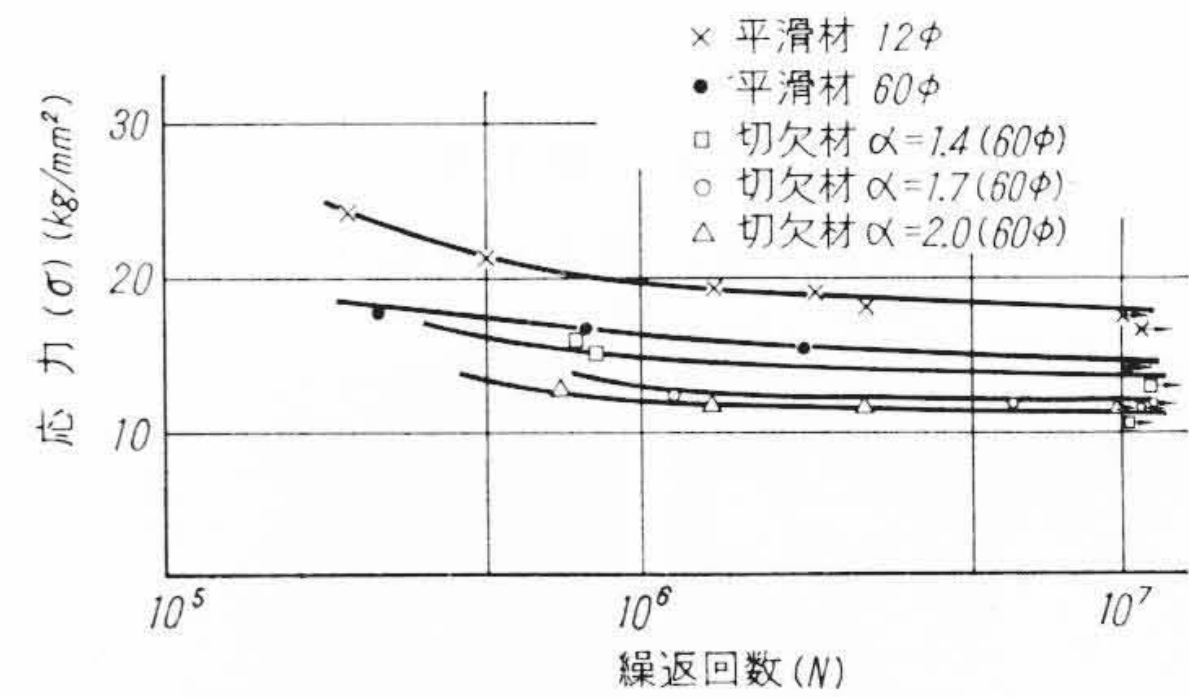
このS-N曲線は試験片が各4本であるため、疲れ限度を前もって推測しその付近のみで行なったため曲線は一部分にすぎない。疲労試験にはかなりのバラツキがあり統計的にこれを処理しなければならず、われわれの試験はこの点で満足できない面があるが、ここでは一応この4本の結果より曲線を求めた。



(a) 試料Iの粗材

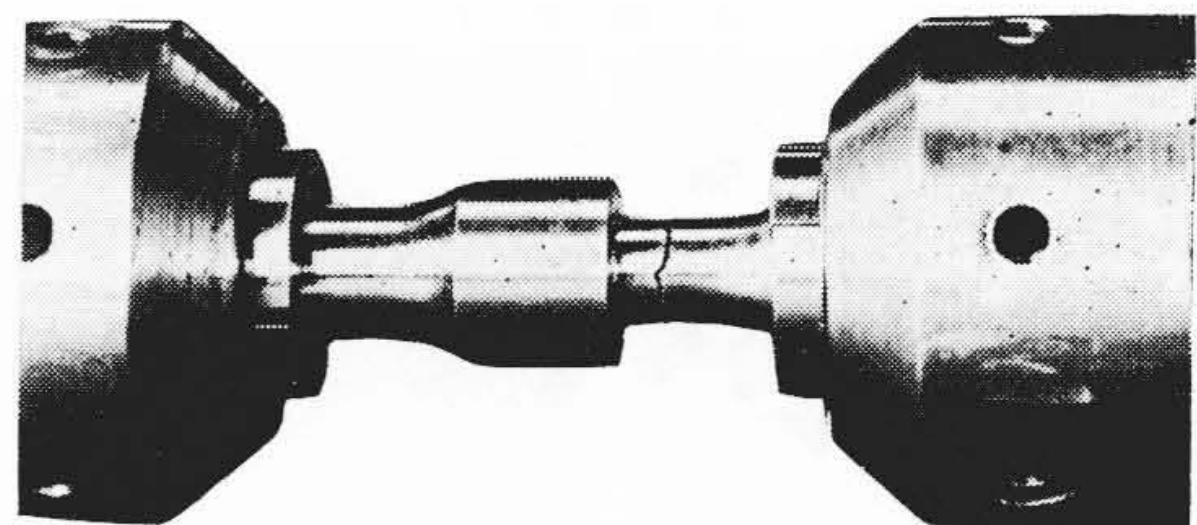


(b) 試料IIの粗材



(c) 試料IIIの粗材

第9図 S-N 曲線



($\alpha=2.0$ $\sigma=17.1 \text{ kg/mm}^2$)
第10図 小形切欠試験片破断状況 (12φ)

なお直径12 mmにおける切欠試験片($\alpha=2.0$)で疲れ限度を求めたのが、第10図に示すように試験片はすべて応力集中部ではない平滑部で破断した。したがって12 mmの小形試験片では、従来からいわれている⁽⁷⁾ように切欠による疲れ限度の低下は認められなかった。

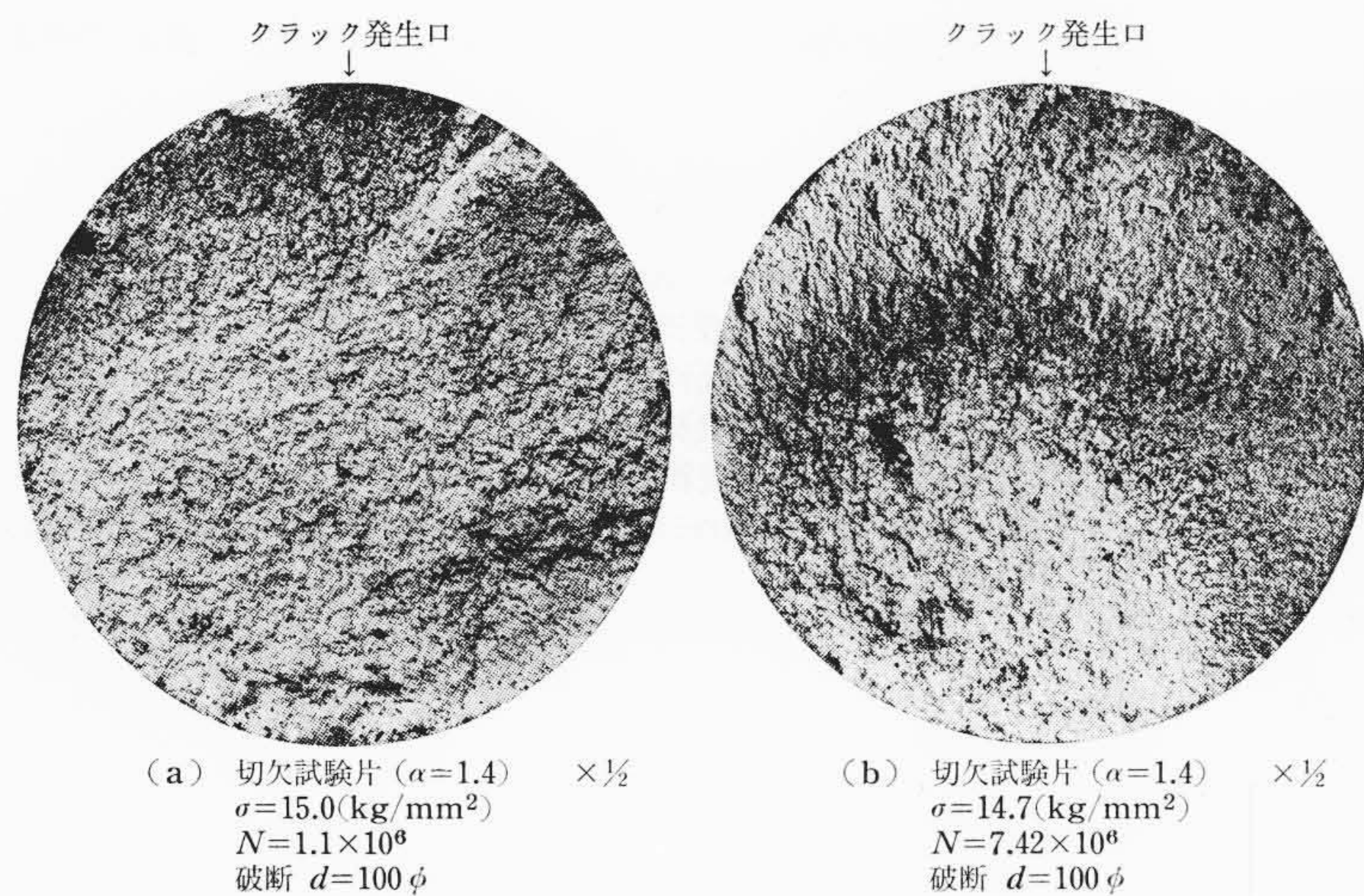
4.2 試験片の破断位置と破断面の状況

平滑試験片はいずれも中央のテーパ部で破断しており、切欠試験片は段つきすみ肉部の切欠半径付根の応力集中部より破断している。

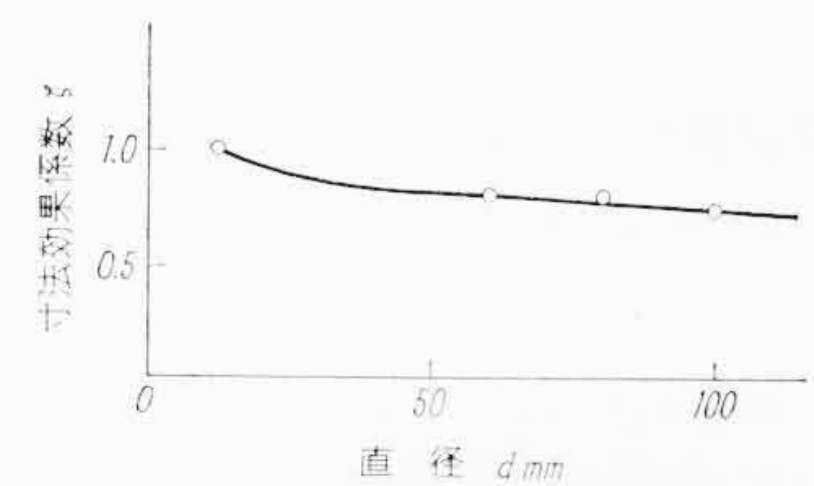
つぎに第11図は大形疲労試験機による大形試片の破断面の状況を示す。この写真より比較的早期に破断した試片ほど最終破断面が大きいことがわかった。破面はき裂起点より最終破面に至るまで面のあらさは次第に増すが、すべてぜい性破面のようなものである。き裂起点は、切欠、平滑試験片とも1個の起点よりき裂が発生している。

4.3 試験片直径と疲れ限度、寸法効果係数ならびに切欠係数

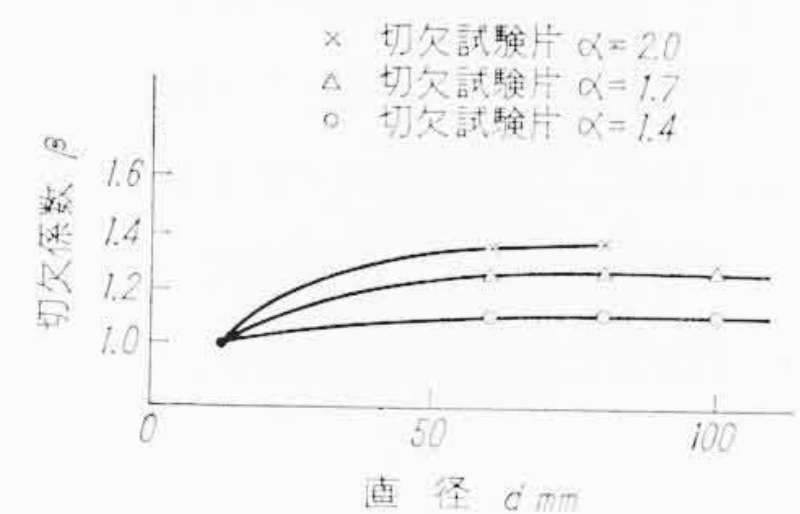
形状係数が α なる切欠を持つ切欠材の疲れ限度と切欠材と同じ材料で作った平滑材の疲れ限度との比を、その切欠の切欠係数⁽⁷⁾と呼び、この切欠係数に関する寸法効果を考える場合に問題となるの



第11図 大形試験片疲れ破面



第12図 試験片直径と寸法効果係数

第13図 試験片直径と切欠係数 β の関係

は、平滑材の疲れ限度としてどの寸法の値を用いるかということである。それは平滑材においても大きい試験片の疲れ限度が小形試験片の疲れ限度より小さいからである。したがって平滑材の疲れ限度を、切欠材の最小断面の寸法と同じ寸法の試験片の疲れ限度とする場合の切欠係数は小形試験片の疲れ限度を用いる場合の切欠係数より小さくなる。しかしこれら二つの切欠係数はいずれも寸法の影響を受ける。ゆえにここでは各種直径の平滑試験片の疲れ限度 (σ_{wd}) と、それらの直径に等しい径をもった切欠のある試験片の疲れ限度の比を β 、直径 12 mm の平滑試験片の疲れ限度 (σ_{w12}) と、各直径の切欠試験片の疲れ限度 (σ_w) との比を β' とする。

平滑試験片の場合、試験片の直径が大きくなるに従って疲れ限度は低下しているが、いま任意直径の平滑材の疲れ限度と 12 mm の平滑材の疲れ限度の比を寸法効果係数と名づけて表わす。

前記実験の結果から試験片の直径と疲れ限度寸法効果係数ならびに切欠係数の関係を表示すると第2表のようになる。

4.4 寸法効果係数および切欠係数 β に及ぼす試験片寸法の影響

試験片の寸法効果を求めるためには厳密には、同一溶湯、同一冷却条件の試料を使うべきである。すなわち試験片の寸法効果を知る場合、同一鋳鉄系でありながら製造条件が異なるために組織に差異を生じている材料を使って実験を行なう場合、試験片の大きさの影響

のほかに材料の影響がはいってくることが予想される。このことは本実験で直径 12 mm のものと各直径との間で寸法効果を論ずることができても、各直径 (60, 80, 100) の試験片の間では、それぞれの試験片の粗材である試料 I, II, III が同一条件で製造されたものでないため、厳密には寸法効果を論ずることはできないことになる。しかしながらここでは一応試験片の寸法効果に対して黒鉛球状化の多少の差異は、影響しないものとして切欠係数 β と寸法効果係数に及ぼす試験片寸法の影響を調べた。

寸法効果係数と試験片直径 d との関係を示したものが第12図であり、種々の形状係数について試験片直径と切欠係数 β の関係を示したものが第13図である。

5. 結果の検討

以上の結果から寸法効果係数および切欠係数に及ぼす試験片寸法の影響は大きく、

- (1) 疲れ限度は直径の増大に伴って低下し、平滑試験片において直径 12 mm に比して 60 mm のものは疲れ限度が約 18%, 80 mm のもので約 20%, 100 mm のもので約 26% 低下している。
- (2) 切欠試験片における疲れ限度の寸法効果も大きく形状係数が大きいほど疲れ限度の低下は大きい。
- (3) 切欠係数 β は直径の増大とともに大きくなるが 60 以上 100 mm の間ではその増大が緩慢で一定値に近づき、100 mm 付近で飽和状態にある。なお形状係数 $\alpha=2.0$ における直径 100 mm での切欠係数 β を求めることができなかったが、形状係数 $\alpha=1.4, 1.7$ の傾向から推察してこの場合も飽和状態にあるものと思われる。
- (4) このように切欠係数 β が飽和状態にあることはこの結果をより大きな直径の試験片の切欠係数とすることができる。
- (5) 切欠係数 β は Peterson の形状係数 α に対して $\beta < \alpha$ であるが、切欠係数 β' は直径 100 mm で形状係数にほぼ近い値を取り、 $\beta' > \alpha$ となる。このことは注意しなければならない。
- (6) これによって直径 100 mm の切欠材の疲れ限度を小形試験片 (直径 12 mm の平滑試験片) の疲れ限度から直接 Peterson の形状係数を用いて近似的に求めることが可能である。

6. 結 言

片持はり式大形回転曲げ疲労試験機を製作しこれによって D.C.I. 材の大形疲労試験を行ない、平滑試験片および形状係数 $\alpha=1.4, 1.7, 2.0$ の3種の切欠試験片の疲れ限度に及ぼす試験片寸法の影響を明らかにすることができた。その結果を要約すれば次のとおりで

第2表 疲れ限度、寸法効果係数および切欠係数

試料 番号	試片 形状	直 径 d (mm)	疲れ限度 σ_w (kg/mm ²)	形 状 係 数 α	寸法効果係数 $\zeta = \sigma_w / \sigma_{w12}$	切 欠 係 数 $\beta = \sigma_{wd} / \sigma_w$ $\beta' = \sigma_{w12} / \sigma_w$
I	平 滑	12	21.3	1.0	1	1.00
		100	15.7	1.0	0.74	—
	切	100	14.5	1.4	—	1.08
	欠	100	12.3	1.7	—	1.28
		100	—*	2.0	—	—
II	平 滑	12	17.9	1.0	1	1.00
		80	14.3	1.0	0.80	—
	切	80	13.3	1.4	—	1.08
	欠	80	11.3	1.7	—	1.28
		80	10.7	2.0	—	1.35
III	平 滑	12	17.6	1.0	1	1.00
		60	14.4	1.0	0.82	—
	切	60	13.5	1.4	—	1.07
	欠	60	11.8	1.7	—	1.22
		60	10.8	2.0	—	1.33

* 試料不足のために実験していない。

ある。

(1) 平滑試験片では直径が 12 mm から 60 mm になると疲れ限度が約 18%, 80 mm になると 20%, 100 mm になると約 26% 低下している。

(2) 切欠試験片においても寸法効果は大きく、相似試験片の切欠係数は試験片直径の増大に伴って次第に大きくなるが 60 mm から 100 mm の間ではその増大が緩慢で 100 mm 付近で飽和状態となる。したがって 100 mm における切欠係数を、これより大きな直径の試料の切欠係数とすることが可能である。

以上のように D.C.I 材においても疲れ限度に及ぼす試験片の寸法効果は大きく実際の大形部材、特に大きな切欠を有する部材の疲労強度を求める際には寸法効果を特に考察する必要がある。

最後に本試験機の製作にご尽力いただいた関係各位に謹んで感謝の意を表わす。

参 考 文 献

- (1) H. F. Moore: Proc. ASTM, 45, 507 (1945)
- (2) 小野, 田川: 日本機械学会論文集, 12, 42, 36 (昭 21)
- (3) 小田, 西岡: 日本機械学会誌 58, 441, 718 (昭 30)
- (4) 星野, 新井: 日本機械学会論文集 25, 155, 528 (昭 34)
- (5) 大内田: 日本機械学会誌 62, 484, 722 (昭34)
- (6) R. E. Peterson: Stress Concentration Design Factor, (1953)
- (7) 石 橋: 金属の疲労と破壊の防止, 74 (昭29—養賢堂)

特許と新案

最近登録された日立製作所の特許(その6)

(77 頁よりつづく)

特許番号	名 称	氏 名	特許年月日	特許番号	名 称	氏 名	特許年月日
406147	ポリアミド樹脂の改良法	橋谷公平	38. 4. 24	407100	蓄電池車輛制御装置	竹村伸一	38. 5. 4
406148	原子炉圧力容器	浜田邦雄	"			山義磨	
406149	銅板に絶縁被膜を生成させる方法	杉野藤義	"	407101	電動車のパンタグラフ離線防止装置	今泉崎良彰	38. 5. 9
406150	油入電気機器用放圧装置	斎藤隆司	"	407102	陸揚設備	山中端山	"
406151	スコット結線変圧器	和田隆	"	407103	デジタル式自動速度調整装置	小西孝務	"
406152	直流分に応動しない静止形リレー回路	昌山尚造	"	407399	変圧器の電圧調整方式	大西真史	38. 5. 13
406153	超小型直流電動機用速度制御装置	中大敬和	"	407400	二相可逆パルス応動電動機	大後藤達秀	"
406154	誘導電動機の緩速起動装置	大井田浩	"	407401	遮断弁操作装置	後舩沢夫	38. 5. 17
406155	チタン・モリブデン・ニッケル合金	大渡辺新太郎	"	407402	クレーンの荷重動揺防止装置	川石勝山	"
406156	チタン・タングステン・ニッケル合金	土井俊雄	"	407403	二相可逆パルス応動電動機の駆動論理回路	後藤達生	"
406157	高電圧部の絶縁装置	土井上清	"	407404	巻取機制御装置	加藤春雄	"
406158	発電機制御装置	川上合義	"	407405	ケーブルクレーンにおける固定塔の揺動装置	松崎直政	"
406159	直流発電機制御装置	岩田幸二	"	407406	二相可逆パルス応動電動機	原藤達	"
406160	フライス主軸におけるカッター受け取りはづし装置	橋本三男	"	407407	ろう付け方法	中高田八州男	"
406161	発電機の電圧調整装置	柴田孝則	"	407408	粒子加速器用粒子偏向電磁石の定電流装置	杉本光昭	"
406162	コイル口出準備機	是石安喜	"	407409	同期電動機の運転装置	大西和夫	"
406163	回転電機の消音装置	佐藤晴朗	"	407410	微小部品の移送装置	坂本雄三郎	"
406164	筒型蓄電器を用いた高電圧発生装置	井上清	"	407411	熱間タンデム圧延機電動機速度制御方式	田附政修	"
406165	充電機電圧調整装置	柴田孝則	"	407412	ブームコンベヤの自動俯仰を行うスタッカ	石山実一	"
406166	充電機電圧調整装置	柴田孝則	"	407413	電気刷子	武政隆	"
406167	発電機電圧調整装置	柴田孝則	"	407414	直流機の集電装置におけるロッカー回転装置	佐藤一実	"
406168	電気集塵器	安藤文一	"				
406169	電気的空気清浄装置	水野紀至	"	407637	計数型継電器	中山敬造	38. 5. 27
406170	電気集塵装置	水野紀	"	407638	乾電池	中北川子田	"
406662	電子顕微鏡	孤野紀	38. 4. 25			武田康嗣	"
406663	電子顕微鏡における試料微動装置	只野文哉	"	407639	パルス電子流射出装置	中外山康昌	38. 5. 17
		片桐二郎	"	407640	絶縁電線	増瀬子根	
406664	磁界型電子レンズ	赤片桐信二	"	407923	X線速写装置	山根真静	38. 6. 8
406665	電子銃	柳田孜男	"	407924	回転陽極X線管	高野雄	"
406666	ケーベ巻上装置	孤田良俊	"	407943	水中モートルポンプの保護装置	久見利茂	"
406667	磁気増幅器	若原森陸	"	407944	列車接近自動警報装置	南安若西	"
		斎藤田稔	"			神力喜一	"
406668	焼結型陰極	本田我良	"	407945	チタン酸バリウムのような粘結性のない材料による極薄厚磁器の製造法	真橋流本	"
406669	光電管及び類似装置の暗電流低減方法	沢久島原七博	"	407946	負荷時電圧調整装置	武田石川	"
406670	連続鑄造機の取鍋傾倒装置	岡恒金重	"	407947	収塵電極の製造方法	是中川木	"
406671	同期一同期周波数変換機の同期並列投入装置	町田金乍	"	407948	巻取機及び巻戻機の先端支持装置	鈴畑井島	"
406672	高周波イオン源	高林芳治	"	407949	気化装置	川村田	"
407096	流体圧式操作装置	赤津又伸	38. 5. 4	407950	可変ベンチュリー式気化装置	小田福	"
407097	書状区分機における書状送り装置	菅ノ江正達	"	407951	電気集塵装置		"
407098	車両用保安ブレーキ装置	三丸浅政	38. 5. 4	407952	燃料電池用電極		"
		湯四宮博	"				"
407099	磁気増幅器	石川貞睦	"				"
		友斎藤仁	"				"